

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/050450

International filing date: 02 February 2005 (02.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 005 173.9
Filing date: 02 February 2004 (02.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 04 May 2005 (04.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

15. 04. 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 005 173.9

Anmeldetag: 02. Februar 2004

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
60488 Frankfurt/DE

Bezeichnung: Verfahren zur indirekten Reifendrucküberwachung

IPC: B 60 C 23/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. März 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stark

Continental Teves AG & Co. oHG

02.02.2004
GP/JC
P 10875

Dr. A. Köbe
F. Edling
Dr. M. Grießer
Dr. V. Koukes
L. Gootjes
M. Hofmann
Dr. J. Kohn
Dr. I. Runge

Verfahren zur indirekten Reifendrucküberwachung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff von Anspruch 1, ein System zur Reifendrucküberwachung gemäß Oberbegriff von Anspruch 4, sowie ein Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 5.

In modernen Kraftfahrzeugen finden vermehrt Systeme Anwendung, welche zu einem aktiven oder passiven Schutz der Insassen beitragen. Systeme zur Reifendrucküberwachung schützen die Fahrzeuginsassen vor Fahrzeugschäden, welche beispielsweise auf einen abnormalen Reifenluftdruck zurückzuführen sind. Durch einen abnormalen Reifenluftdruck kann sich beispielsweise der Reifenverschleiß und der Kraftstoffverbrauch erhöhen oder es kann zu einem Reifendefekt („Reifenplatzer“) kommen. Es sind bereits verschiedene Reifen-drucküberwachungssysteme bekannt, welche entweder auf Basis direkt messender Sensoren arbeiten oder durch Auswertung von Drehzahl- oder Schwingungseigenschaften der Fahrzeugräder einen abnormalen Reifendruck erkennen.

Aus der DE 100 58 140 A1 ist ein sogenanntes indirekt messendes Reifendrucküberwachungssystem bekannt, welches durch Auswertung der Raddrehbewegung einen Reifendruckverlust erkennt.

Aus der EP 0 578 826 B1 ist ein Reifenmesser bekannt, welcher auf Basis von Reifenschwingungen einen Druckverlust in einem Reifen erkennt.

In der WO 01/87647 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reifendrucküberwachung beschrieben, welche ein auf der Erfassung von Radradien basierendes Reifendrucküberwachungssystem und ein auf der Auswertung von Schwingungseigenschaften basierendes Reifendrucküberwachungssystem kombiniert.

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Reifendrucküberwachung bereitzustellen, welches ein bekanntes indirekt messendes Reifendrucküberwachungssystem durch Berücksichtigung der Reifeneigenfrequenzen dahingehend verbessert, dass die Erkennung eines abnormalen Reifenluftdrucks sicher erkannt wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst.

Vorteilhafterweise werden in einer vorgeschalteten Lernphase die ungefähren Frequenzlagen der Torsionseigenfrequenzen jedes Reifens am Fahrzeug individuell eingelernt.

Weitere Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens gehen aus der nachfolgenden Beschreibung und den Unteransprüchen hervor.

Ausgehend von einem bekannten indirekten Reifendrucküberwachungssystem, welches beispielsweise in der DE 100 58 140 A1 beschrieben ist, werden zusätzlich die Schwingungseigenschaften des Reifens betrachtet. Die Erfindung nutzt den Effekt aus, dass sich die Schwingungseigenschaften des Reifens (z. B. die Torsionseigenfrequenz) hauptsächlich aufgrund einer Veränderung des Reifenluftdrucks ändern. Wie bei dem bekannten indirekten Reifendrucküberwachungssystem wird auch das erfindungsgemäße Verfahren erst nach Auslösen eines sogenannten „Resets“ gestartet. Der Reset wird z. B. durch das Betätigen eines Schalters durch den Fahrzeugführer gegeben.

Die Raddrehbewegung, welche bei dem bekannten Reifendrucküberwachungssystem ausgewertet wird, und die Schwingungseigenschaft des Reifens hängen weitgehend von den Reifendimensionen (Reifenbreite, Reifenhöhe, Reifendurchmesser) und den Materialeigenschaften (Radial- oder Diagonalreifen, Gummimischung des Reifens etc) des Reifens ab. Da ein Fahrzeug zumeist mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Reifengrößen und Reifentypen ausgestattet sein kann, ist es notwendig dies bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zu berücksichtigen. Diese Berücksichtigung erfolgt in einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens durch eine Lernphase, in welcher die Reifeneigenschaften, insbesondere die Druckempfindlichkeit (df_p/dp), der verwendeten Reifen eingelernt wird. Das Erlernen der individuellen Druckempfindlichkeit (df_p/dp) eines jeden Reifens am Fahrzeug erfolgt durch die Ausnutzung der Druckveränderungen während des Aufwärmens oder Abkühlens der Reifen im Betrieb. Sind die Reifeneigenschaften eingelernt, so werden die Raddrehbewegungen, beispielsweise die Veränderungen der Abrollumfänge der Räder, und die Schwingungseigenschaften der Reifen in einer gemeinsamen Warnstrategie miteinander verknüpft. Die Warnkriterien (DIAG, Δf_p) für die Raddrehbewegungen und die Schwingungseigenschaften werden in Geschwindigkeits- und Radmomentenbereichen eingelernt. Die Geschwindigkeits- und Radmomentenbereiche für die Raddrehbewegungen und die Schwingungseigenschaften müssen hierbei nicht gleich sein. Die Auswertung der Warnkriterien (DIAG, f_p) erfolgt ebenfalls geschwindigkeits- und radmomentenabhängig.

Alle bekannten Systeme zur Reifendrucküberwachung per Schwingungsanalyse basieren auf dem physikalischen Nutzeffekt, einer druckbedingten Verschiebung einer charakteristischen Reifeneigenfrequenz. Die genaue Lage der Eigenfrequenz f_p ist ebenso wie die Druckempfindlichkeit df_p/dp eine Reifeneigenschaft und beide Größen nehmen somit für verschiedene Reifentypen unterschiedliche Werte an. Typischerweise kann die Eigenfrequenz f_p für verschiedene Reifen beim selben Druck im Bereich von etwa 33 bis etwa 48 Hz schwanken. Werte Druckempfindlichkeit df_p/dp schwanken für dieselben Reifen im Bereich von etwa 4 bis etwa 8 Hz je 1 bar.

Da der Reifentyp in der Regel nicht bekannt ist und für normale Fahrzeuge in der Regel eine Vielzahl von Reifendimensionen und -typen eingesetzt werden dürfen, muss ein herkömmliches System dies tolerieren. Dies führt einerseits dazu, dass die Frequenzanalyse in einem breiten Frequenzbereich, nämlich in diesem Fall z. B. etwa 20 bis etwa 60 Hz mit hoher Auflösung, z.B. 0,5 Hz (entspricht 81 Frequenzen) betrieben werden muss. Die Anzahl der zu berücksichtigenden Frequenzen legt dabei direkt die Anforderungen an den Rechner fest, auf dem der Algorithmus ausgeführt wird. Hier sind vor allem der Arbeitsspeicher (RAM) und Laufzeit betroffen.

Wird, wie es in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen ist, in einer vorgeschalteten Lernphase zuerst nur die ungefähre Frequenzlage der Reifeneigenfrequenz f_p bestimmt, so ist das erfindungsgemäße Verfahren besonders ressourcenschonend. Hierbei wird in einer zeitlich kurzen, ersten Lernphase zunächst die grobe Lage der Reifeneigenfrequenz f_p in einem weiten Frequenzbereich (z. B. 20 bis 60 Hz) mit einer groben Frequenzauflösung, z. B. 1 Hz (entspricht 41 Frequenzschritte) bestimmt. Anschließend wird nun der relevante Frequenzbereich für die eigentliche Lernphase festgelegt, z. B. zu $f_p - 15 \text{ Hz} < f < f_p + 5 \text{ Hz}$, wobei hier nun eine Frequenzauflösung von 0,5 Hz möglich ist, um dieselbe Anzahl Frequenzschritte (41) auszunutzen. Die erforderlichen Ressourcen können mit diesem Verfahren somit halbiert werden, wobei allein der Nachteil einer insgesamt etwas längeren Lernphase in Kauf genommen werden muss.

Die Abhängigkeit der Druckempfindlichkeit df_p/dp vom Reifen führt in heutigen Systemen dazu, dass die Einhaltung fester Minderdruck-Warnschwellen nicht erreicht werden kann. In der Applikation des Algorithmus kann nur eine feste Warnschwelle hinsichtlich der Frequenzverschiebung, z. B. $\Delta f_{\text{warn}} = 3 \text{ Hz}$, verwendet werden, die als Kompromiss über die möglichen Reifen für das betrachtete Fahrzeug gewählt wird. Diese Warnschwelle führt nun abhängig vom Reifen zu verschiedenen Warnminderdrücken, nämlich beispielsweise

-0,75 bar für den unempfindlichen Reifen mit einer Druckempfindlichkeit von $df_p/dp = 4 \text{ Hz/bar}$ und beispielsweise -0,375 bar für empfindliche Reifen mit der doppelten Druckempfindlichkeit von $df_p/dp = 8 \text{ Hz/bar}$.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine Minderdruckwarnung bei gleichen Drücken für alle Reifen erreicht. Charakteristisch ist, dass für die zu bewarnende Frequenzverschiebung Δf_{warn} im Algorithmus nur ein Startwert, z. B. 3 Hz, hinterlegt wird. Die wirklich verwendete Warnschwelle wird dann in einem zusätzlichen ablaufenden Lernalgorithmus reifenabhängig adaptiert. Hierbei wird der Effekt ausgenutzt, dass sich Reifen im Betrieb so stark auf- und der Walkarbeit erwärmen können, dass sich eine Druckerhöhung von bis zu 0,3 bar einstellt. Wird ein Reifen also z. B. weitgehend kalt bei 40 km/h zunächst eingelernt und dann im Anschluss an eine längere Autoahnfahrt warm wieder bei 40 km/h betrieben, so ist eine Erhöhung der Reifeneigenfrequenz aufgrund des höheren Luftdrucks zu erkennen. Der oben im Beispiel genannte empfindliche Reifen zeigt dann eine Verschiebung um etwa 2,4 Hz, der unempfindliche nur um 1,2 Hz. Erfolgt nun z. B. aufgrund einsetzenden Regens eine erneute Abkühlung der Reifen, so wirkt sich dies in genau umgekehrter Weise aus.

Eine entscheidende Voraussetzung für die Ausnutzung dieses Effekts ist somit, genau detektieren zu können, wann ein aufgewärmter Reifen vorliegt bzw. wann die Reifen kalt sind. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird hierbei der Effekt ausgenutzt, dass Aufwärm- und Abkühlvorgänge immer alle vier Reifen am Fahrzeug betreffen, d. h. stellt man eine einheitliche Erhöhung der Eigenfrequenz f_p an allen vier Rädern fest, so ist davon auszugehen, dass die Reifen warm sind. Verringert sich die Eigenfrequenz f_p dagegen an allen vier Rädern gleichzeitig und verharrt dann auf einem Wert (wichtig, um von gleichzeitigem Druckverlust zu unterscheiden), so ist von kalten Reifen z. B. aufgrund von Regen oder allgemeiner Abkühlung auszugehen. Veränderungen, die nur einzelne Reifen betreffen werden nicht ausgenutzt. Hierbei wird also nicht nur der Absolut-

wert der Eigenfrequenzen herangezogen, sondern insbesondere das Verhalten der Eigenfrequenzen über der Zeit bewertet.

In einer ersten einfachen Ausführung können damit allein Maximal- und Minimalwerte der Eigenfrequenz f_p zur Entscheidung über die Empfindlichkeit herangezogen werden. Hierbei geht man davon aus, dass sich im normalen Fahrbetrieb ein jeder Zustand (warm und kalt) einmal einstellen wird.

In einer weiteren genaueren Ausführung wird darüber hinaus die Außentemperatur verwendet, um das aktuelle Temperaturniveau gegenüber dem Temperaturniveau zum Zeitpunkt des Resets, sowie das Aufwärmpotential abhängig vom Zustand der Umgebung bewerten zu können. Sofern der Algorithmus in einem Bremsensteuergerät ausgeführt wird, kann für die Außentemperatur die im Steuergerät per bereits vorhandenem Sensor gemessene Temperatur verwendet werden. Andernfalls kann auch die Außentemperatur vom Fahrzeugbus, z. B. CAN, verwendet werden. Außerdem wird innerhalb eines jeden Zündungslaufs eine Bewertung der Walkenergie der Reifen vorgenommen, die im wesentlichen vom Geschwindigkeitsprofil abhängt (z. B. aufintegrieren der Rotationsenergien). Hierüber kann die erwartete Druckerhöhung abgeschätzt werden. In einer weiteren Ausführung wird darüber hinaus die Fahrzeugstandzeit vor dem aktuellen Zündungslauf mit herangezogen, um sicherer bewerten zu können, ob mit warmen oder kalten Reifen gestartet wurde. Diese Standzeit kann z. B. durch einen Nachlauf des Rechners über das „Zündung aus“ Signal hinaus ermittelt werden. In der Praxis wird aus Gründen der Schonung der Fahrzeugbatterie vermutlich ein Nachlauf von maximal 30 min ausreichen. Oder die Uhrzeit wird - sofern verfügbar - direkt vom Fahrzeugbus, z. B. CAN, eingelesen. Zur Stützung der Annahme einer regenbedingten Abkühlung der Reifen können darüber hinaus Signale eines Regensors vom Fahrzeugbus eingelesen werden.

Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit eines Reifendruckkontrollsystems, das druckbedingte Änderungen des Abrollumfangs (DDS) und

druckbedingte Änderungen der Schwingungseigenschaften (FA) gleichzeitig ausnutzt wird eine gemeinsame Warnstrategie eingesetzt. In dieser Kombination wird das abrollumfangbasierte System (DDS) so ausgelegt, dass es eine Druckwarnung auch für einen Minderdruck an bis zu drei Positionen (z. B. Rad vorne links, Rad vorne rechts, Rad hinten links, Rad hinten rechts) ausgeben kann. Bei dem abrollumfangbasierenden System (DDS) werden drei Prüfgrößen (DIAG, SIDE, AXLE) gleichzeitig oder nacheinander bestimmt. In jede Prüfgröße gehen hierbei Größen ein, welche die Raddrehbewegungen der Räder beschreiben, wie beispielsweise die Umdrehungszeiten einer Radumdrehung, der Abrollumfang, etc.. Die Prüfgrößen bestehen im wesentlichen aus einem Quotienten in dessen Zähler und Nenner jeweils die Summe zweier die Raddrehbewegungen beschreibender Größen stehen. In dem Zähler der Prüfgröße DIAG steht beispielsweise die Summe der Größen der Raddrehbewegung der zwei sich diagonal gegenüberliegenden Räder (z. B. Rad vorne links und Rad hinten rechts), wohingegen im Nenner die Summe der übrigen Größen der Raddrehbewegungen steht (z. B. Rad vorne rechts und Rad hinten links). Bei der Prüfgröße SIDE stehen im Zähler beispielsweise die Größen der Raddrehbewegungen einer Fahrzeugseite (z. B. Rad vorne rechts und Rad hinten rechts), wohingegen bei der Prüfgröße AXLE im Zähler die Größen der Raddrehbewegungen der Räder einer Achse (z. B. Rad vorne rechts und Rad vorne links) stehen. Die Nenner werden jeweils aus den übrigen Größen der Raddrehbewegungen gebildet. Für die Bewarnung von Druckverlusten an einer und an drei Positionen wird die Prüfgröße DIAG, herangezogen. Druckverluste an zwei Positionen können über SIDE und AXLE erkannt werden. Alle drei Größen fließen in bekannter Weise in die Raderkennung ein. Ein Druckverlust an allen vier Räder gleichzeitig kann nur durch die Frequenzanalyse (FA) erkannt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren wird wie ein abrollumfangbasierendes System (DDS) gestartet, d. h. der Fahrer muss das System z. B. per Taster zurücksetzen (Reset) wenn die Reifendrucke angepasst wurden bzw. Reifen oder Räder gewechselt wurden. Nach dem Reset erfolgt die Lernphase, wobei es sich zur Steigerung der Genauigkeit empfiehlt exakt

denselben Zeitraum für das Lernen vorzusehen wie bereits bei dem bekannten abrollumfangbasierenden System (DDS).

Durch die Kombination des abrollumfangbasierenden Systems (DDS) mit einer Frequenzanalyse (FA) kann sowohl eine verbesserte Genauigkeit zur Erkennung von Druckverlusten erreicht werden, als auch die Robustheit des Gesamtsystems gegen Fehlwarnungen erhöht werden. Dies wird dadurch erreicht, dass die Informationen der einzelnen Systeme (DDS) und (FA) jeweils zur gegenseitigen Absicherung einer von einem Einzelsystem ausgesprochenen Druckwarnung herangezogen werden. Da im Falle gleicher Druckverluste an allen vier Rädern gleichzeitig allein per FA eine Warnung gegeben werden kann, wird man die Warnschwellen der FA in der Regel empfindlicher auslegen als die des DDS. Der übliche Fall ist also, dass das DDS herangezogen werden wird, um eine vom FA beabsichtigte Warnung zu bestätigen. Die gegenseitige Absicherung findet ihre Anwendung allerdings nur für kleinere Druckverluste, die im Rahmen feiner Warnschwellen für beide Systeme liegen. Um große Druckverluste in jedem Fall sicher bewarnen zu können, wird für beide Systeme eine grobe Warnschwelle verwendet, nach deren Überschreiten eine Absicherung durch das andere System nicht mehr erforderlich ist, sondern immer eine Warnung ausgegeben wird.

Die Strategie, nach der eine Warnung an den Fahrer in Abhängigkeit von den Systemzuständen von FA und DDS ausgegeben wird, ist in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Während die erste Tabelle die grobe Logik erläutert, sind in der zweiten Tabelle Zahlenbeispiele genannt. Die angegebenen Prozentzahlen zeigen dabei an, wie nah das jeweilige Kriterium von DDS (DIAG, SIDE, AXLE) und FA (Δf_p) sich der Warnschwelle genähert hat. In diesem Beispiel ist 100% die feine Schwelle, 150% der feinen Schwelle entspricht der groben Schwelle. Ausnutzung von 50% der feinen Schwelle ist ausreichend als Bestätigung.

Warnung an Fahrer	Zustand DDS	Zustand FA
Ja	Egal	Warnung (grobe Schwelle)
Ja	Warnung (grobe Schwelle)	Egal
Ja	Warnung feine Schwelle)	Warnschwelle (fein) auf min. einem Reifen > x % (z. B. x=50)
nein	Warnung feine Schwelle)	Warnschwelle (fein) an keinem Reifen > x % (z. B. x=50)
nein	DDS Raderkennung zeigt andere Position(en) oder Warnschwelle bzw. Schwel- le (fein) für Raderken- nung für betroffene Reifen < x% (z.B. x=50 bzw. abhängig von Zustand FA)	Warnung (feine Schwelle) für ein bis drei Positionen
Ja	Schwelle (fein) für Raderkennung für betrof- fene Reifen < x% (z. B. x=50 bzw. abhängig von Zustand FA)	Warnung (feine Schwelle) für ein bis drei Positionen
Ja	Egal	Warnung (feine Schwelle) an allen vier Reifen

[illegible]

2	100	100	0	0	50	50	0	0	j	DDS bestätigt Tendenz, enge Warnschwelle erlaubt
2	0	0	100	100	0	0	10	10	n	DDS bestätigt Tendenz nicht, nur weite Warnschwelle
2	0	150	0	150	0	10	0	10	j	über weiter Warnschwelle, Bestätigung durch DDS n.n.
3	100	100	100	0	50	50	50	0	j	DDS bestätigt Tendenz, enge Warnschwelle erlaubt
3	0	100	100	100	0	10	10	10	n	DDS bestätigt Tendenz nicht, nur weite Warnschwelle
3	150	100	100	0	10	10	10	0	j	über weiter Warnschwelle, Bestätigung durch DDS n.n.
	100	100	100	100	0	0	0	0	j	Warnung mit enger Schwelle, da vier mal bestätigt
4	75	125	75	75	0	20	10	10	j	Warnung mit enger Schwelle, da vier mal bestätigt

Allgemein: unterschiedliche Behandlung der Schwellen entsprechend der Position des Druckverlusts (DV) möglich bzw. sinnvoll

Patentansprüche:

1. Verfahren zur indirekten Reifendrucküberwachung, **gekennzeichnet** durch die Schritte:
 - Einlernen einer individuellen Druckempfindlichkeit df_p/dp eines jeden Reifens eines Fahrzeugs,
 - Einlernen von Größen, welche die Raddrehbewegungen der Räder beschreiben,
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einlernen während des Aufwärmens und/oder Abkühlens der Reifen durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einlernen in Geschwindigkeits- und/oder Radmomentenintervallen durchgeführt wird.
4. System zur Reifendrucküberwachung, **dadurch gekennzeichnet**, dass dies ein indirekt messendes Reifendrucküberwachungssystem und ein System zur Auswertung von Reifenschwingungseigenschaften umfasst.
5. Computerprogrammprodukt, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses einen Algorithmus definiert, welcher ein Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3 umfasst.